EVOLUÇÃO DA UTLIZAÇÃO DOS MATERIAIS

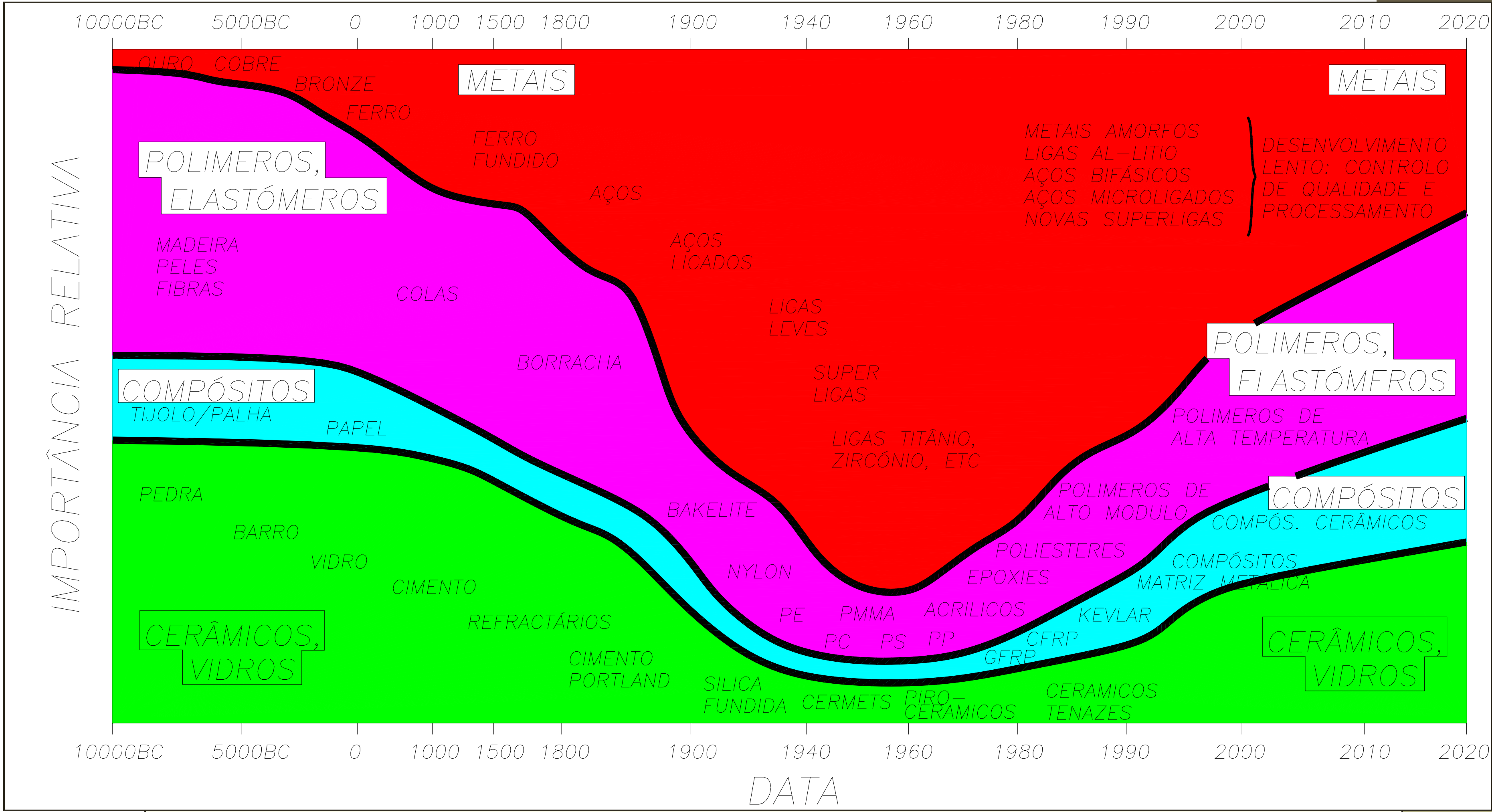
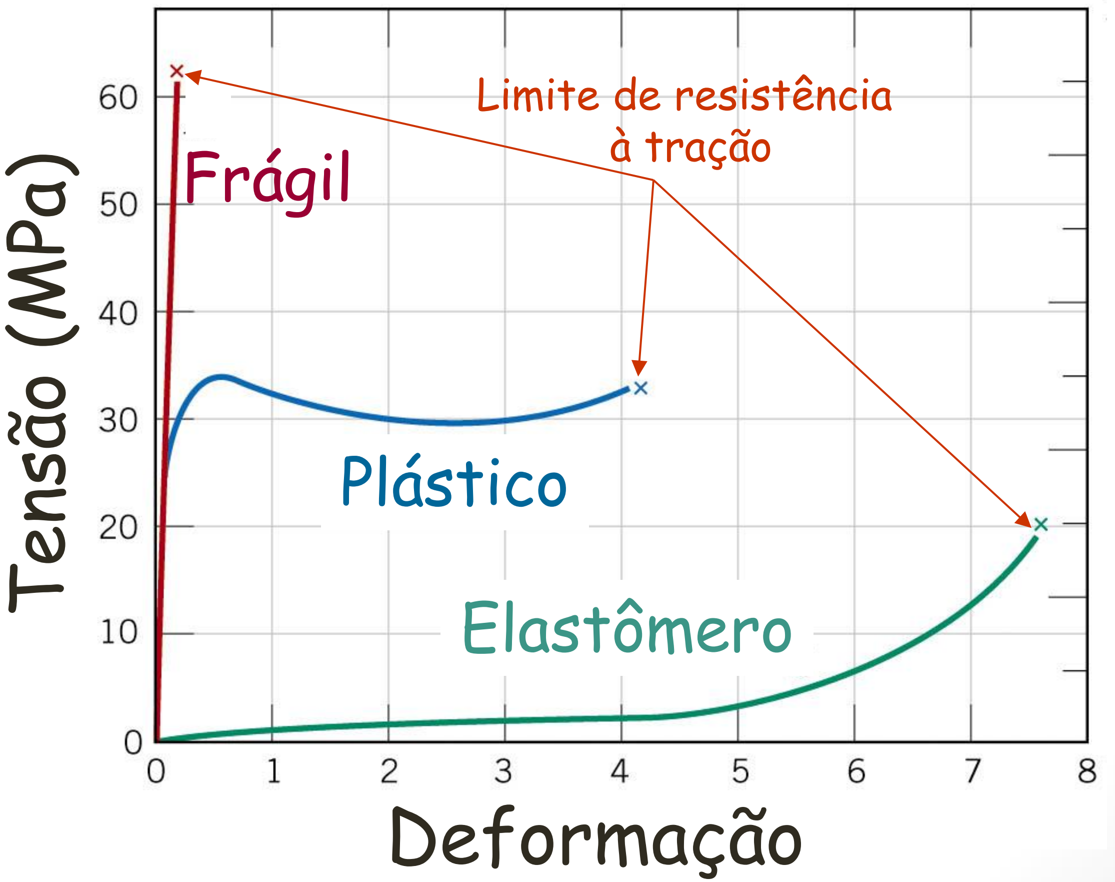


Figura copiada do material do Prof. Arlindo Silva do Instituto Superior Técnico da Universidade de Portugal

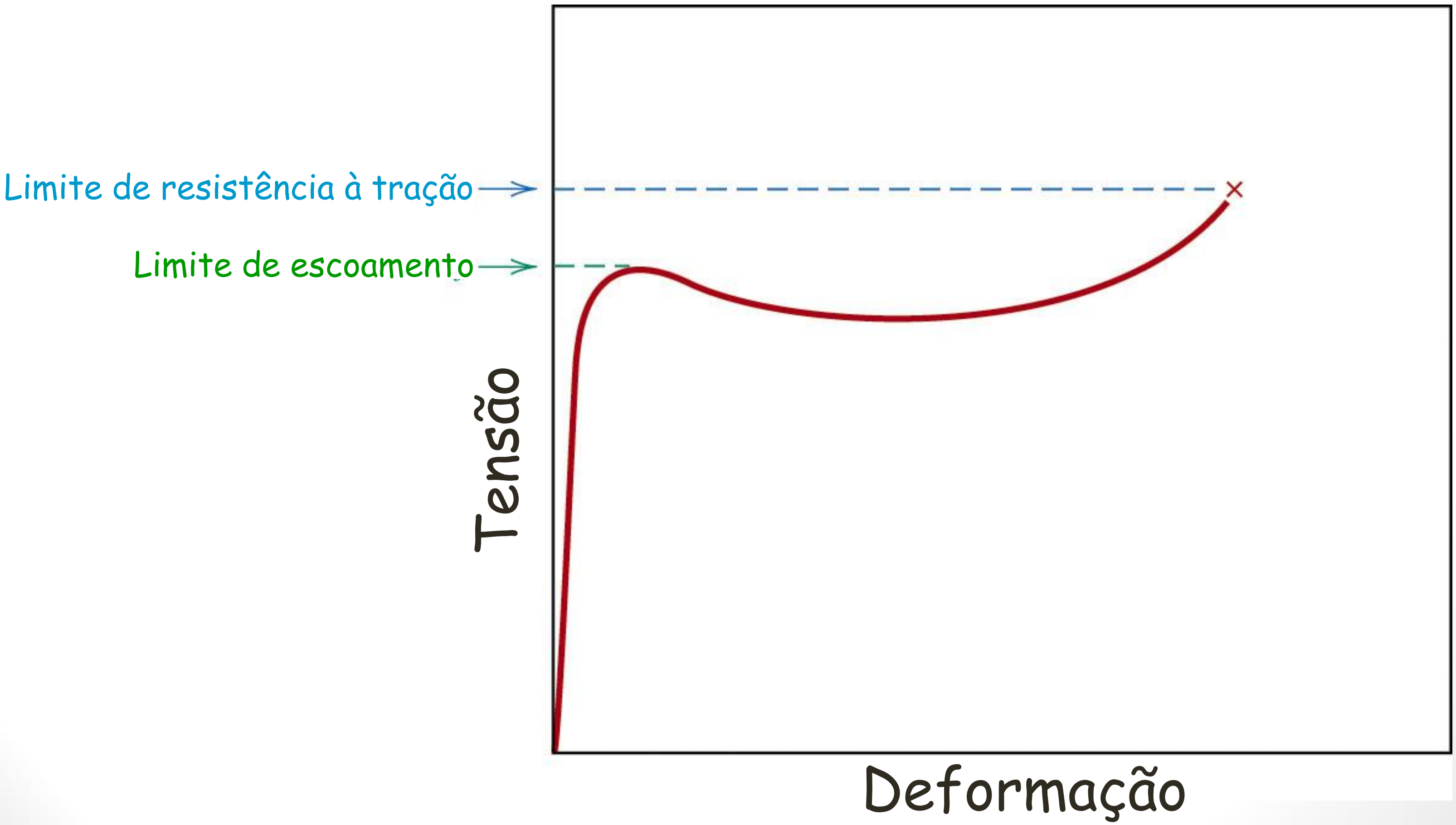
Propriedades mecânicas de polímeros

Tensão x Deformação

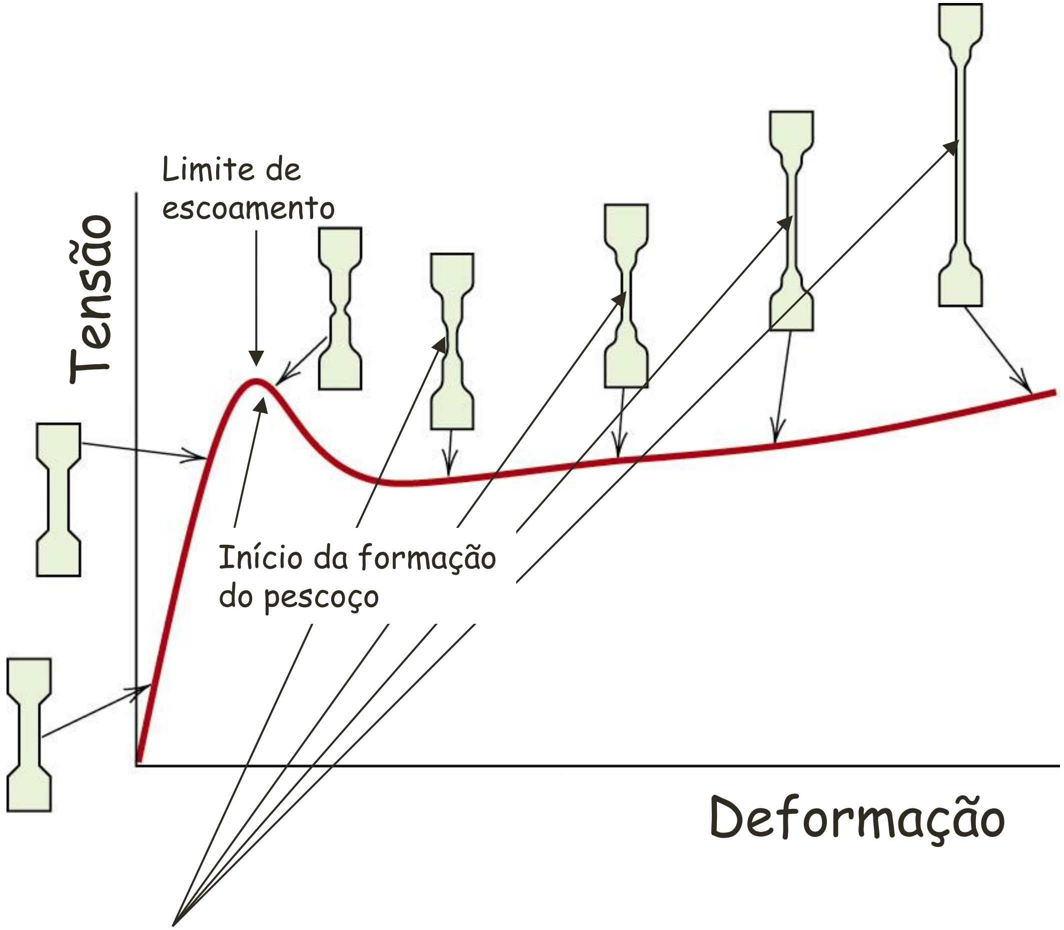


Propriedades mecânicas de polímeros

Tensão x Deformação



Deformação em polímeros plásticos e frágeis


Limite de escoamento
Tensão
Início da formação do pescoço
Deformação

A deformação é confinada ao pescoço!

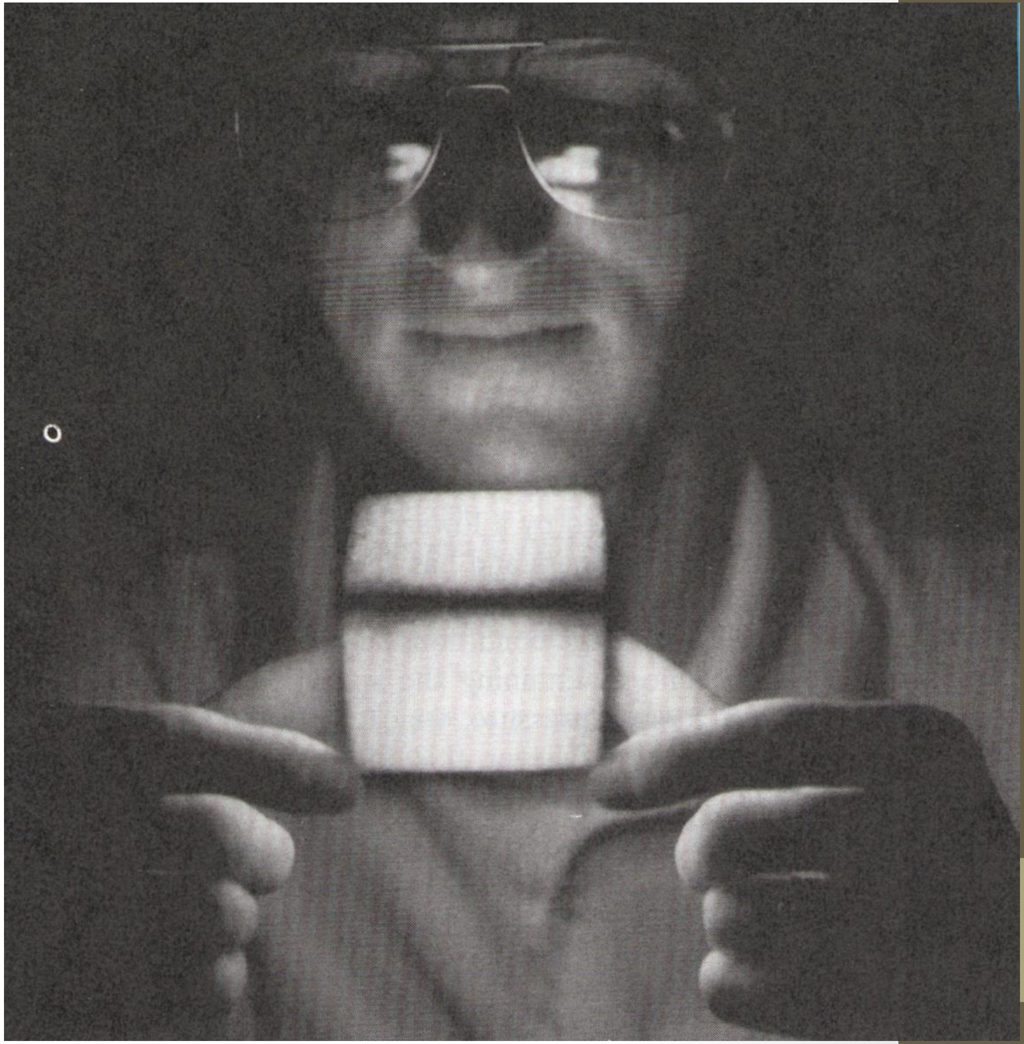
Propriedades mecânicas de polímeros

Tensão x Deformação

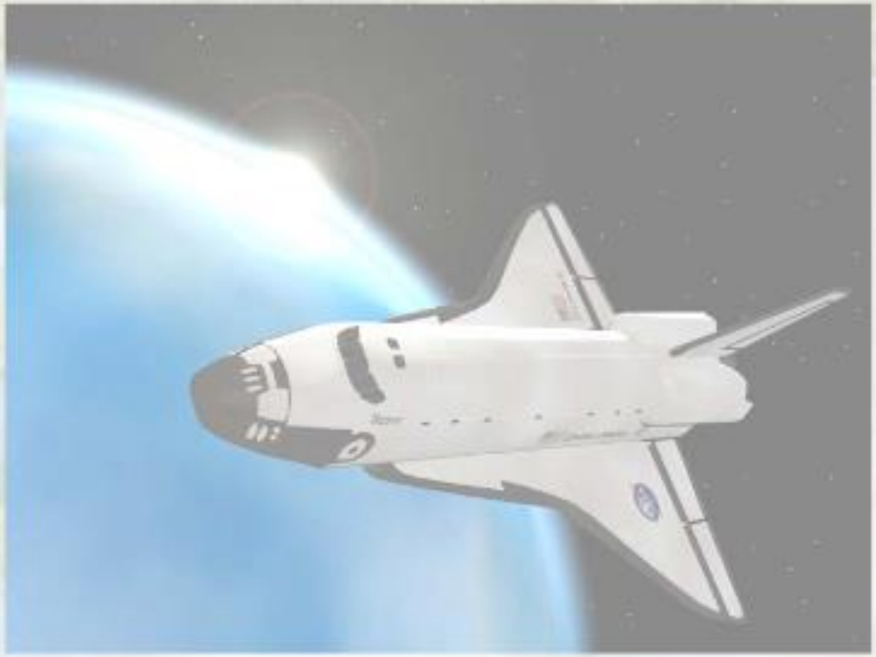
Polímero	Limite de resistência à tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Alongamento na fratura (%)
Polietileno (baixa densidade)	8,3 - 31,4	9,0 – 14,5	100 -650
Polietileno (alta densidade)	22,1 – 31,0	26,2 – 33,1	10 – 1200
PMMA	48,3 – 72,4	53,8 – 73,1	2,0 – 5,5
Náilon	75,9 – 94,5	44,8 – 82,8	15 – 300
PVC	40,7 – 51,7	40,7 – 44,8	40 – 80
PTFE	20,7 – 34,5	-	200 – 400
Metais	4100	600	100

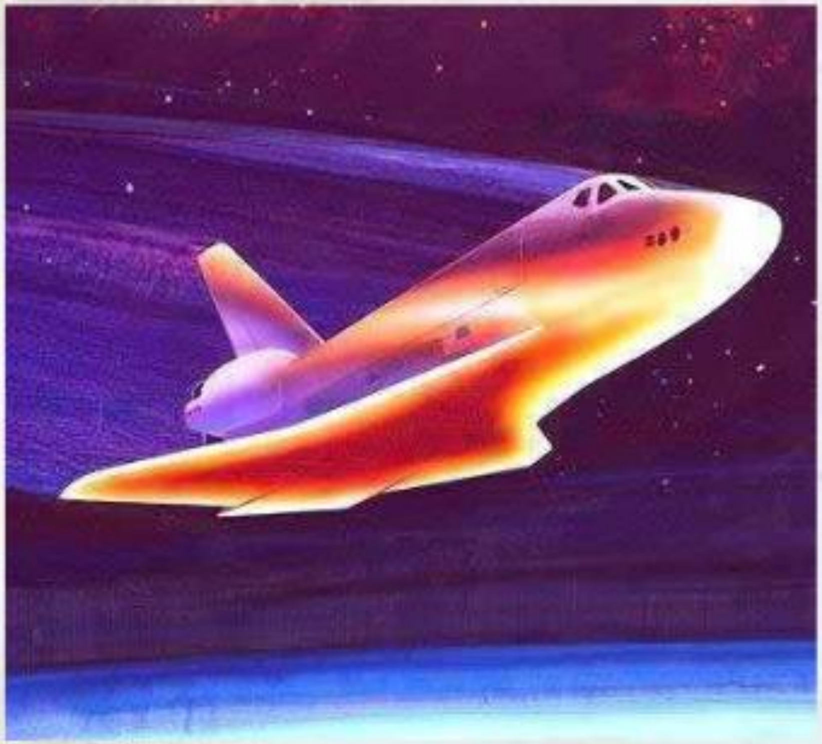
MATERIAIS CERÂMICOS

Cubo de sílica de isolamento térmico. O interior do cubo está a 1250ºC e pode ser manuseado sem proteção.

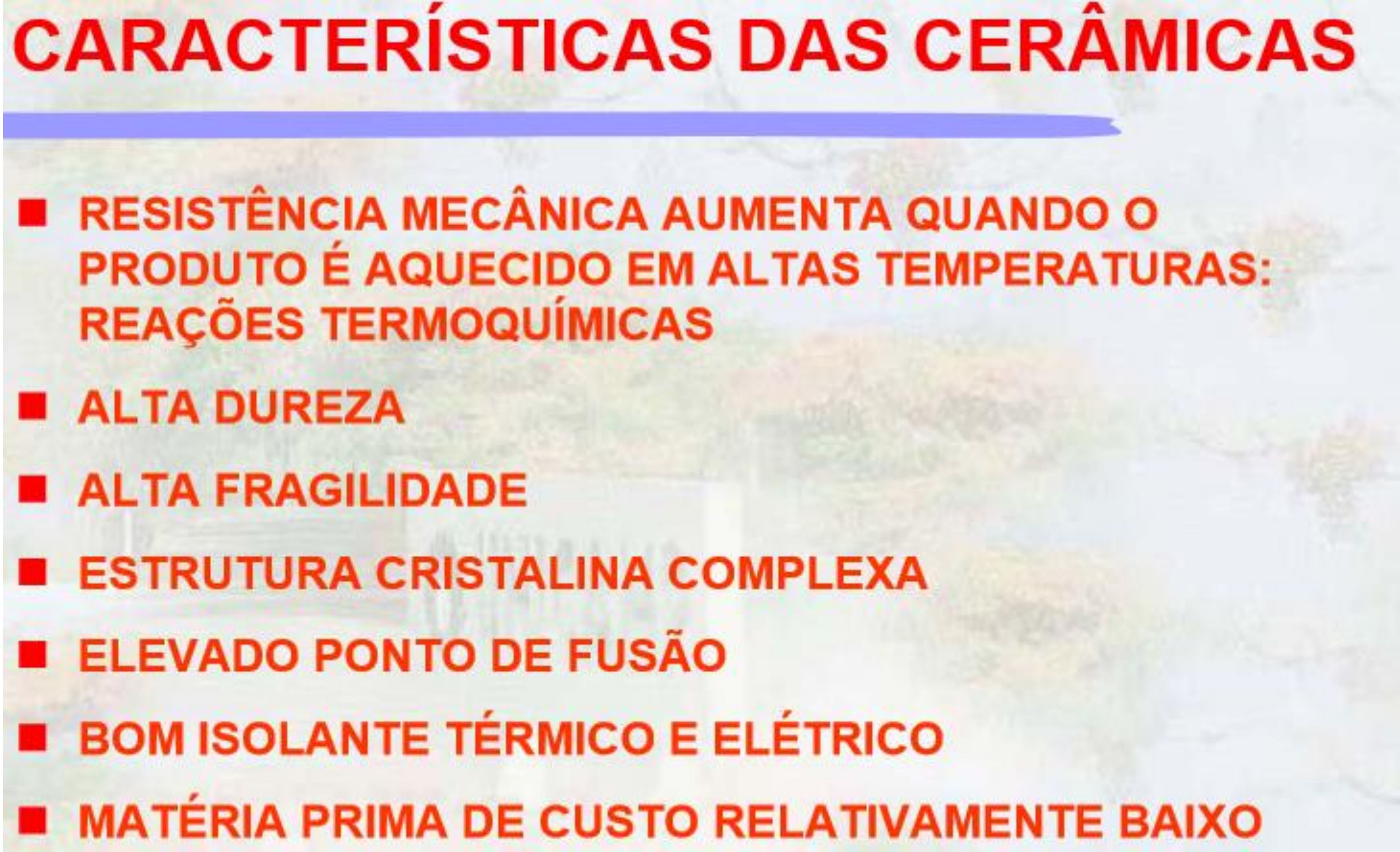


- ÔNIBUS ESPACIAL: NA REENTRADAS, SUPERFÍCIE ATINGE TEMPERATURAS SUPERIORES A 1.000 °C.
- PROTEÇÃO TÉRMICA É FEITA COM PLACAS CERÂMICAS DE FIBRAS DE QUARTZO. EFICIÊNCIA TÉRMICA DESSAS PLACAS: 10 s APÓS SUA RETIRADA DE UM FORNO A 1260 °C É POSSÍVEL TOCÁ-LAS COM AS MÃOS.





MATERIAIS CERÂMICOS



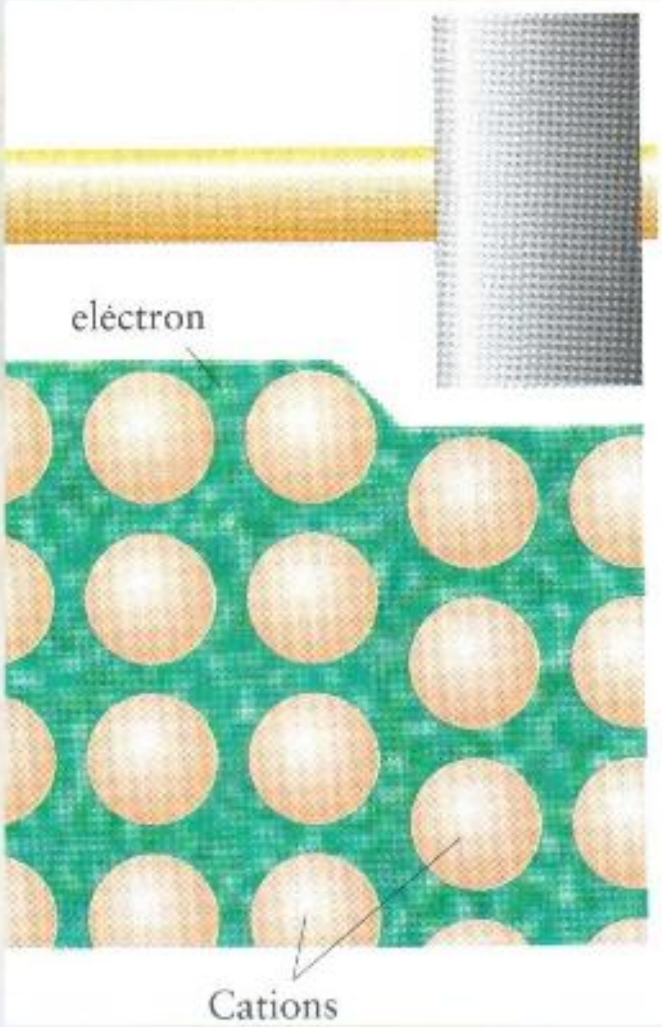
CARACTERÍSTICAS DAS CERÂMICAS

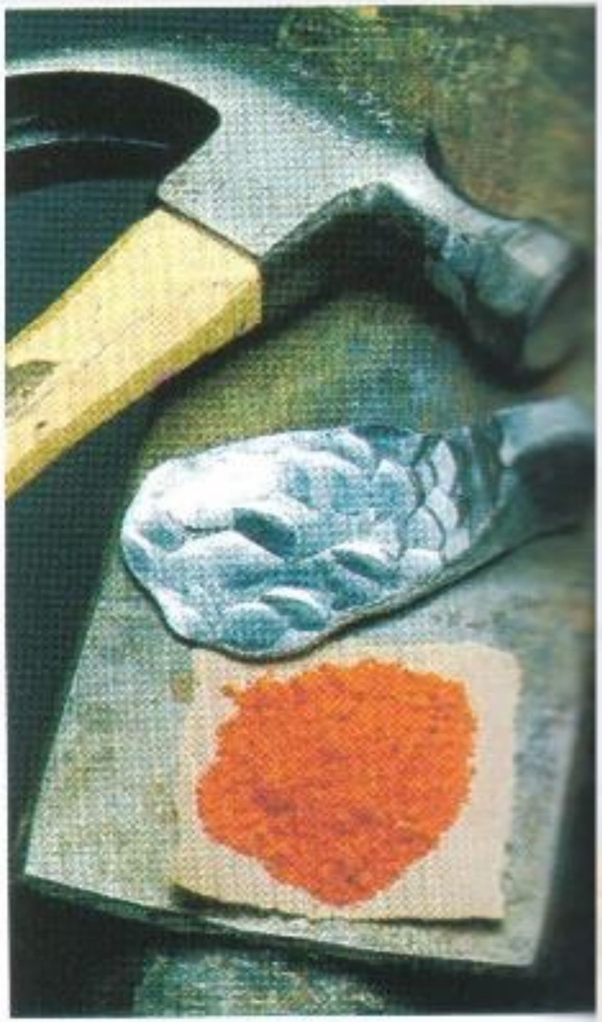
- RESISTÊNCIA MECÂNICA AUMENTA QUANDO O PRODUTO É AQUECIDO EM ALTAS TEMPERATURAS: REAÇÕES TERMOQUÍMICAS
- ALTA DUREZA
- ALTA FRAGILIDADE
- ESTRUTURA CRISTALINA COMPLEXA
- ELEVADO PONTO DE FUSÃO
- BOM ISOLANTE TÉRMICO E ELÉTRICO
- MATÉRIA PRIMA DE CUSTO RELATIVAMENTE BAIXO

MATERIAIS CERÂMICOS
Características Gerais

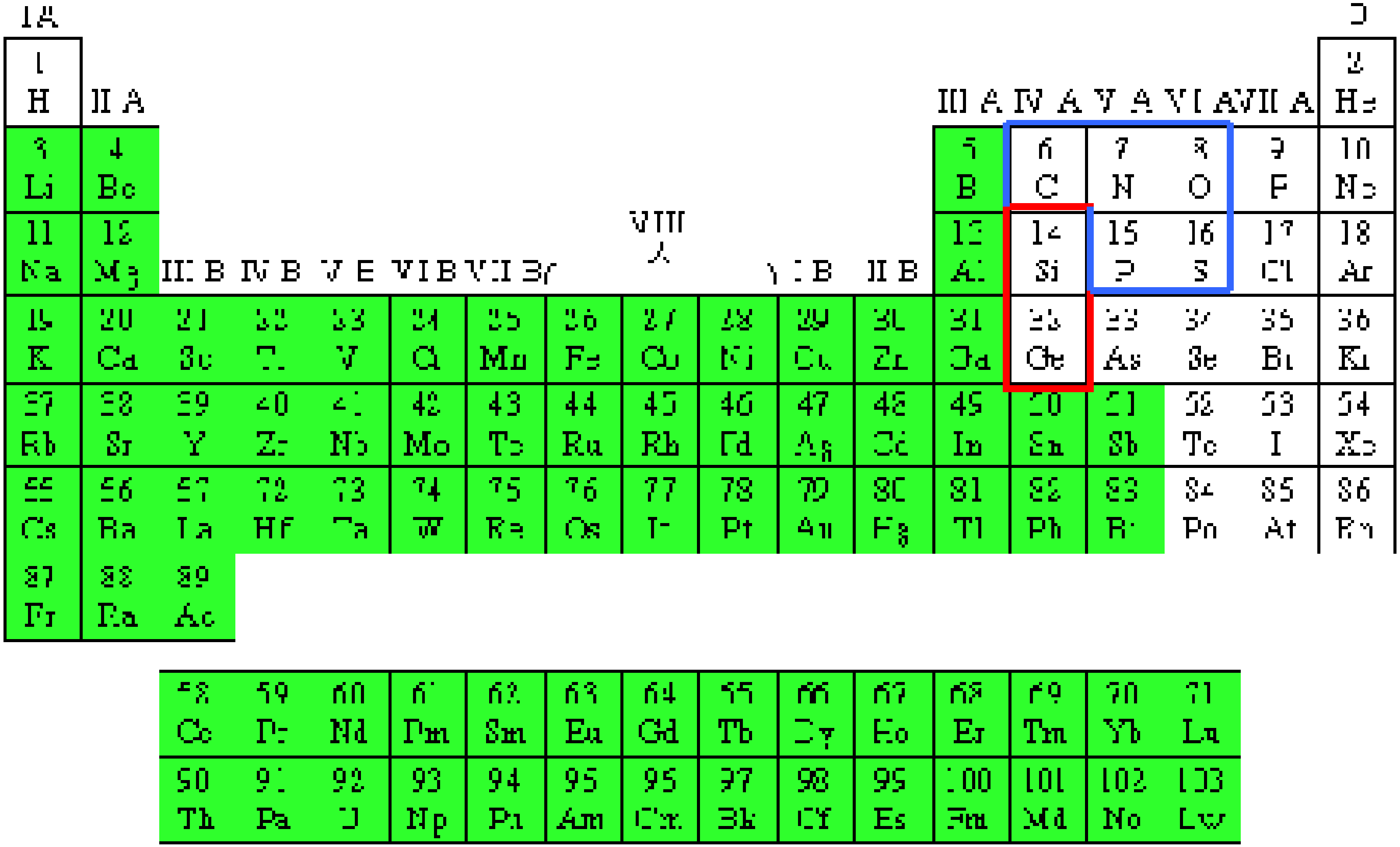
- Materiais cerâmicos são geralmente uma combinação de elementos metálicos e não-metálicos (formam óxidos, nitretos e carbetos)
- Geralmente a ligação predominante é iônica
- São mais resistêntes à altas temperaturas (devido ao elvado PF) e à ambientes severos que metais e polímeros
- Em geral são leves

EFEITO DE TENSÕES EM METAIS E EM CERÂMICAS


eléctron
Cations

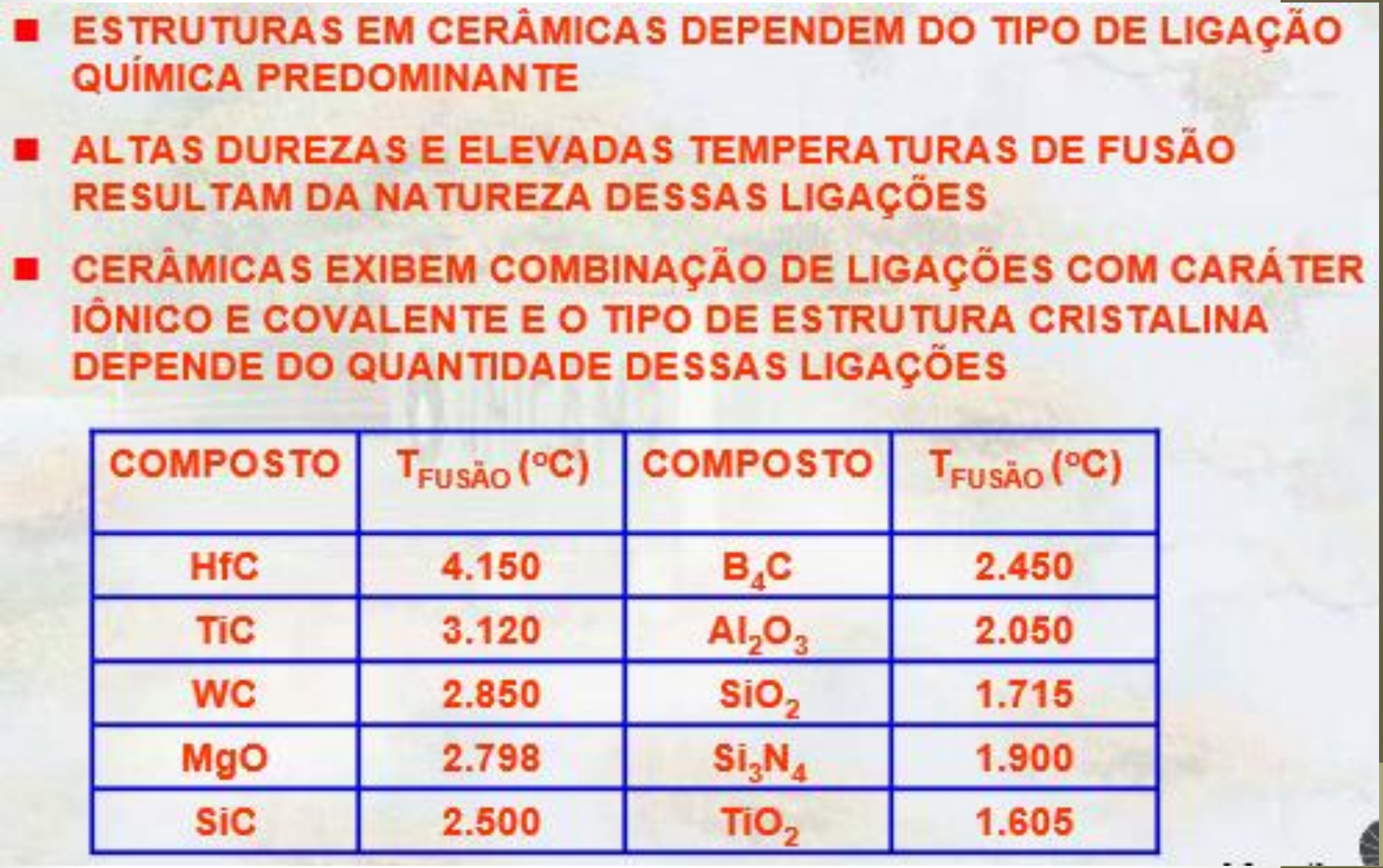


OS MATERIAS CERÂMICOS NA TABELA PERIÓDICA



IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIII	VIII	VIII	IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac															
			58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	
			90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lw	

Os cerâmicos são constituídos de metais e não-metais



- ESTRUTURAS EM CERÂMICAS DEPENDEM DO TIPO DE LIGAÇÃO QUÍMICA PREDOMINANTE
- ALTAS DUREZAS E ELEVADAS TEMPERATURAS DE FUSÃO RESULTAM DA NATUREZA DESSAS LIGAÇÕES
- CERÂMICAS EXIBEM COMBINAÇÃO DE LIGAÇÕES COM CARÁTER IÔNICO E COVALENTE E O TIPO DE ESTRUTURA CRISTALINA DEPENDE DO QUANTIDADE DESSAS LIGAÇÕES

COMPOSTO	$T_{FUSÃO}$ (°C)	COMPOSTO	$T_{FUSÃO}$ (°C)
HfC	4.150	B_4C	2.450
TiC	3.120	Al_2O_3	2.050
WC	2.850	SiO_2	1.715
MgO	2.798	Si_3N_4	1.900
SiC	2.500	TiO_2	1.605

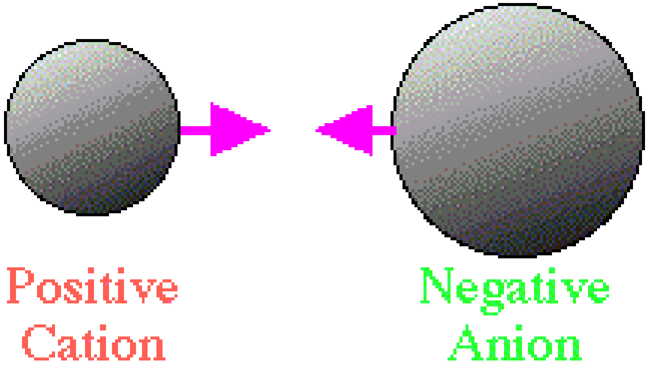
A LIGAÇÃO IÔNICA E AS ESTRUTURAS CRISTALINAS DAS CERÂMICAS

- Forma-se com **átomos de diferentes eletronegatividades** (um alta e outro baixa)
- Os elétrons de valência são "*transferidos*" entre átomos produzindo íons
- A ligação iônica **não é direcional**, a atração é mútua
- A ligação é forte, por isso o PF dos materiais com esse tipo de ligação é geralmente alto

Como conseqüência da ligação ser predominantemente iônica a estrutura cristalina das cerâmicas são compostas por íons carregados eletricamente (CÁTIONS E ÂNIONS)

LIGAÇÃO IÔNICA

- As forças atrativas eletrostáticas entre os átomos é não-direcional → os átomos num material iônico arranjam-se de forma que todos os íons positivos têm como vizinho mais próximo íons negativos, sendo as forças atrativas igual em todas as direções.
- A magnitude da força obedece a Lei de Coulomb

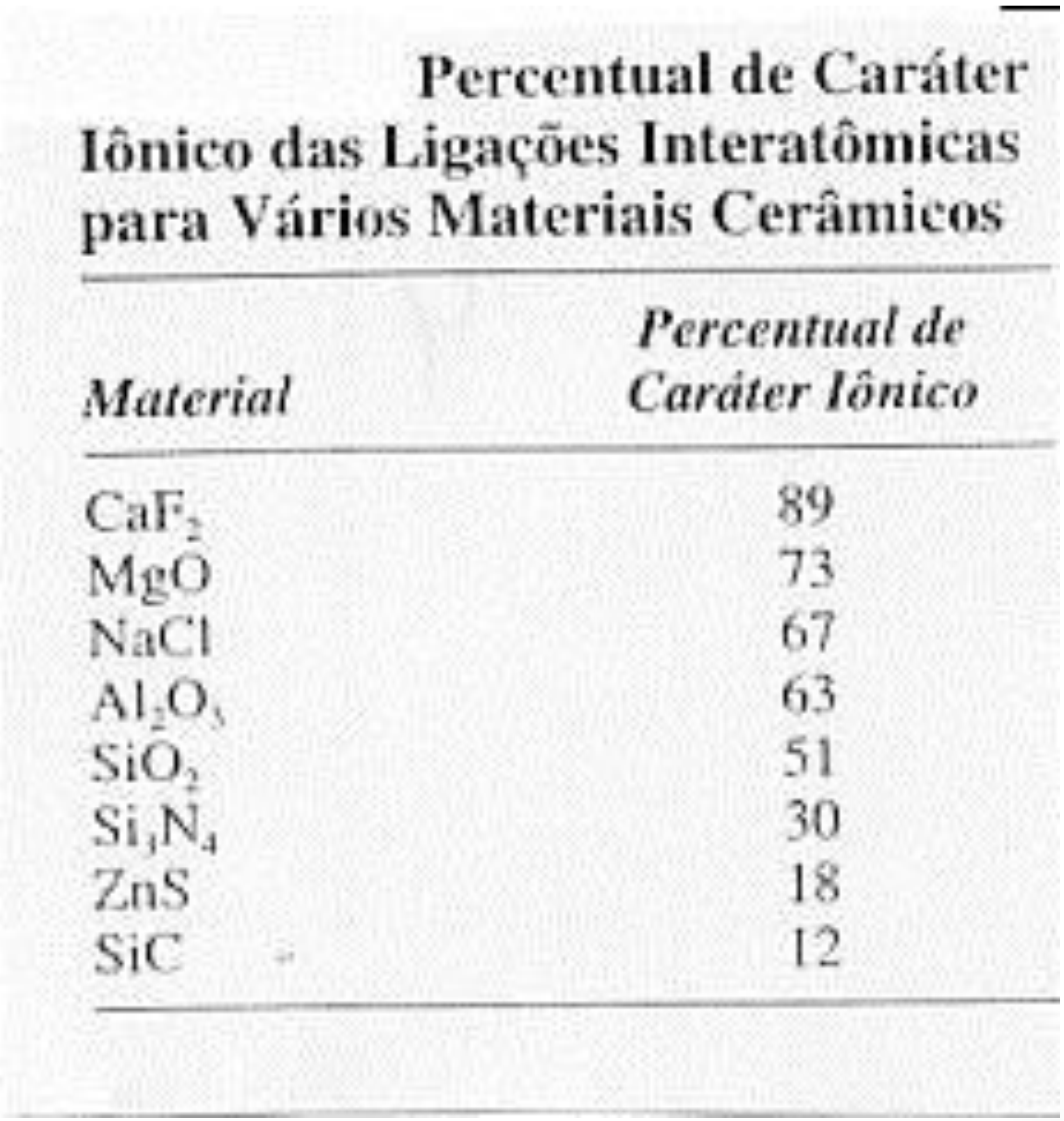


- FRAÇÃO DO CARÁTER IÔNICO OU COVALENTE DEPENDE DA DIFERENÇA DE ELETRONEGATIVIDADE DOS ÁTOMOS ENVOLVIDOS
- CÁLCULO DO % DO CARÁTER IÔNICO É FEITO DE ACORDO COM A EQUAÇÃO DE PAULING:

$$\%\,\text{CARÁTER IÔNICO} = \left(1 - e^{-\frac{1}{4}(X_A - X_B)^2}\right).100\%$$

- X_A – ELETRONEGATIVIDADE DO ÁTOMO A
- X_B – ELETRONEGATIVIDADE DO ÁTOMO B

COMPOSTO	ÁTOMO	Δ ELETRONEG.	% IÔNICA	% COVALENTE
MgO	Mg-O	2,3	73	27
Al2O3	Al-O	2,0	63	37
SiO2	Si-O	1,7	51	49
Si3N4	Si-N	1,2	30	70
SiC	Si-C	0,7	11	89

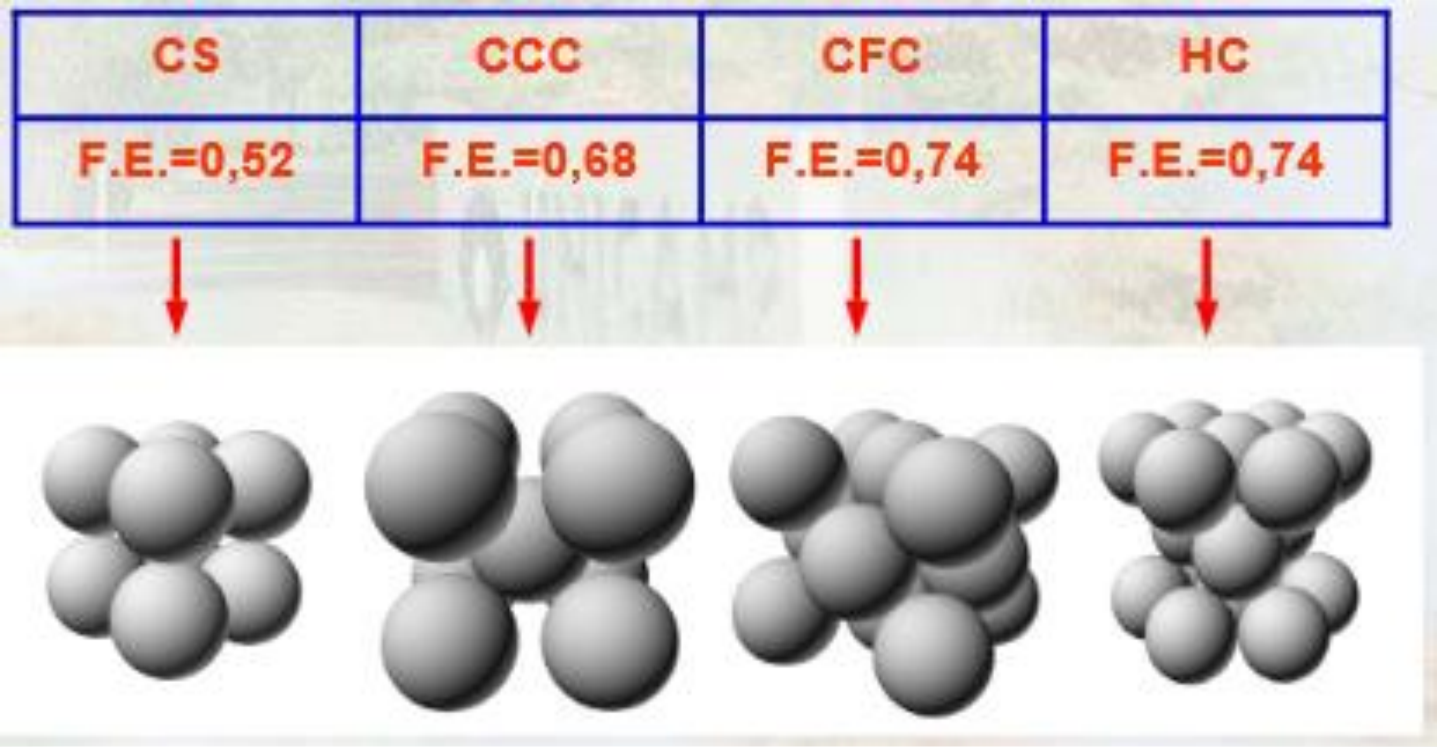


Percentual de Caráter Iônico das Ligações Interatômicas para Vários Materiais Cerâmicos

Material	*Percentual de Caráter Iônico*
CaF_2	89
MgO	73
$NaCl$	67
Al_2O_3	63
SiO_2	51
Si_3N_4	30
ZnS	18
SiC	12

CARACTERÍSTICAS DOS ÍONS QUE AFETAM A ESTRUTURA CRISTALINA

- CARGA
- TAMANHO (RAIO IÔNICO)



CS	CCC	CFC	HC
F.E.=0,52	F.E.=0,68	F.E.=0,74	F.E.=0,74

CONSIDERAÇÕES SOBRE CARGA

- Como o cristal deve ser eletronicamente neutro todas as cargas positivas devem ser contrabalançadas com um número igual de cargas negativas

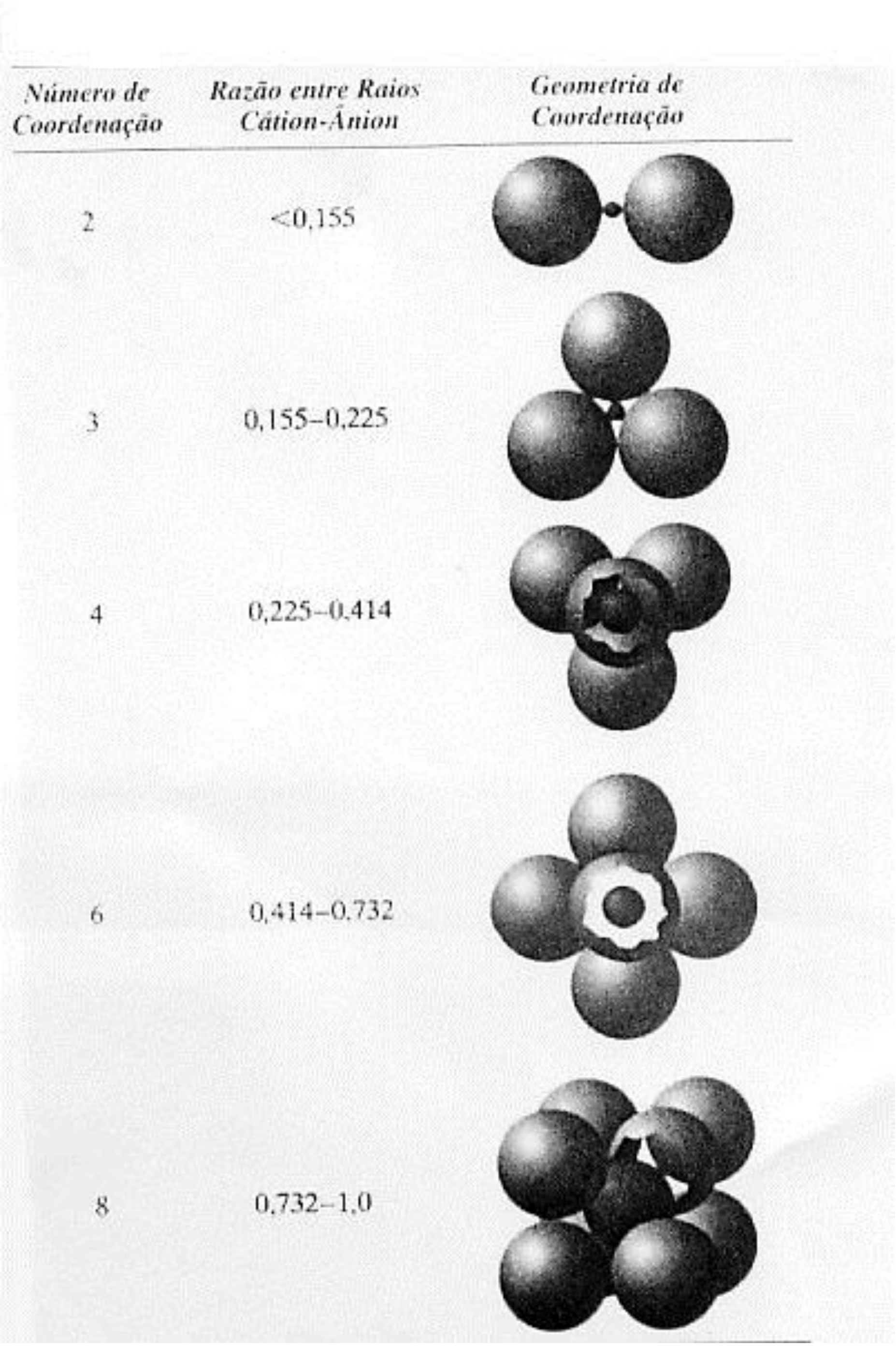
Ex: CaF_2 → A relação deve ser de um átomo de Ca para dois de F pois:

- Carga do Ca: +2
- Carga do F= -1

CONSIDERAÇÕES SOBRE RAIO IÔNICO (R_c e R_A)

- $R_{c:}$ em geral são menores porque cedem elétrons
- $R_{A:}$ em geral são maiores porque recebem elétrons

- Então: **$R_{c/}$ R_A <1**



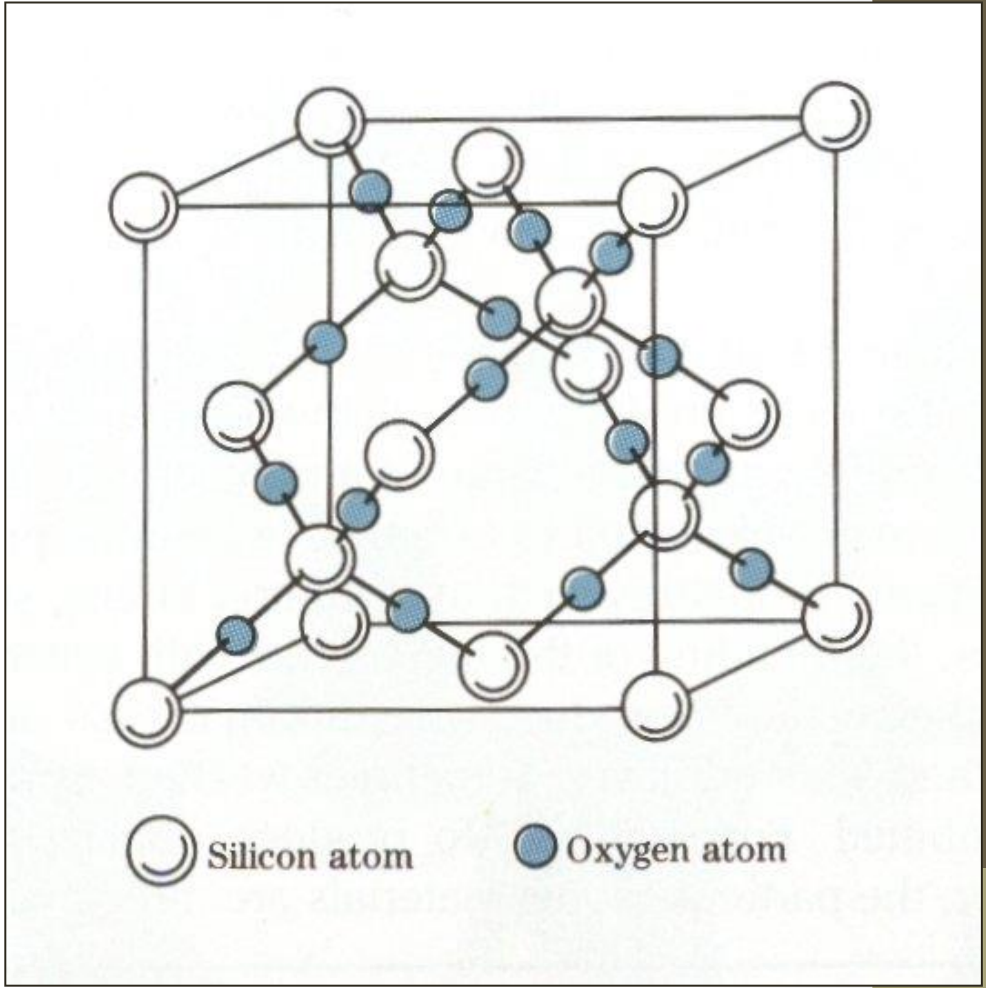
Número de Coordenação	Razão entre Raios Cátion-Ânion	Geometria de Coordenação
2	<0,155	
3	0,155–0,225	
4	0,225–0.414	
6	0,414–0.732	
8	0,732–1,0	

ESTRUTURAS CRISTALINAS DAS CERÂMICAS

A extrema fragilidade e dureza dos cerâmicos vem da natureza das suas ligações atómicas iônicas ou covalentes

As estruturas cristalinas, quando presentes,são extremamente complexas

Exemplo: O óxido de Silício (SiO_2) pode ter três formas cristalinas distintas: quartzo, cristobalite e tridimite



MATERIAIS CERÂMICOS

- PROPRIEDADES TÉRMICAS E FÍSICAS

- Densidade: 2-3 g/cm^3
- Embora os materiais cerâmicos sejam em geral isolantes de calor e eletricidade, há uma classe de materiais cerâmicos que são supercondutores
- A dilatação térmica é baixa comparada com metais e polímeros

MATERIAIS CERÂMICOS

PROPRIEDADES MECÂNICAS

- Apresentam baixa resistência ao choque
- São duros e frágeis em relação à tração (~17 kgf/mm^2)
- São resistentes em relação à compressão
- O módulo de elasticidade é alto: ~45.500kgf/mm^2 (aço: 20.000 kgf/mm^2)
- Têm alta dureza e alta resistência ao desgaste

CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS

CRISTALINOS

Incluem os cerâmicos à base de **Silicatos, Óxidos, Carbonetos e Nitretos**

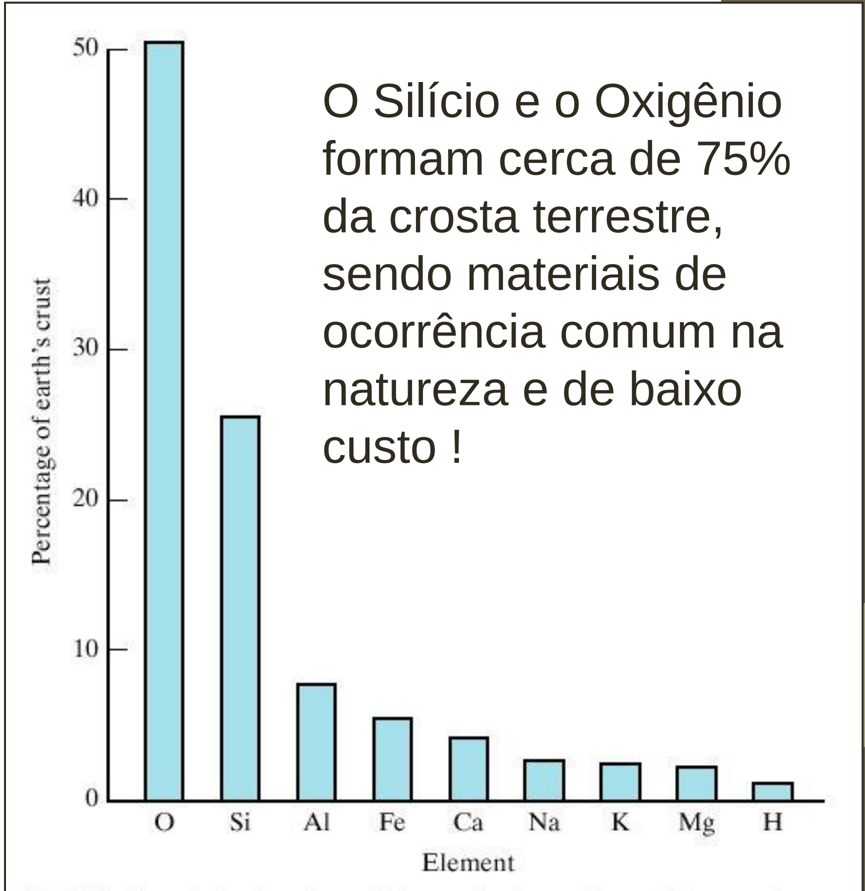
AMORFOS (VIDROS)

Em geral com a mesma composição dos cristalinos, **diferindo no processamento**

VIDRO-CERÂMICOS

Formados inicialmente como **amorfos e tratados termicamente**

Os *cerâmicos avançados* são baseados em óxidos, carbonetos e nitretos com elevados graus de pureza



O Silício e o Oxigênio formam cerca de 75% da crosta terrestre, sendo materiais de ocorrência comum na natureza e de baixo custo !

CERÂMICOS CRISTALINOS DE SILICATOS

	Composição (% em peso)					
	SiO_2	Al_2O_3	K_2O	MgO	CaO	Outros
Sílica refractária	96					4
Tijolo refractário	50-70	45-25				5
Mulita refractária	28	72				----
Porcelana eléctrica	61	32	6			1
Porcelana steatite	64	5		30		1
Cimento Portland	25	9			64	2

Os cerâmicos cristalinos à base de Silicatos não são usados como materiais estruturais (não são considerados cerâmicos avançados)

CERÂMICOS CRISTALINOS SEM SILICATOS

Nome comum	Comp.	Utilização
Alumina, alumina refractária	Al_2O_3	Isolamento térmico e eléctrico
Magnesia, magnesia refractária	MgO	Resistência ao desgaste
Spinel	$MgO.Al_2O_3$	Idem
Óxido de Crómio	Cr_2O_3	Revestimentos para resist. ao desgaste
Dióxido de urânio	UO_2	Combustível em reactores nucleares
Zircónia (parcial.) estabilizada	ZrO_2	Isolamento térmico (estab. com 10%CaO)
Titanato de Bário	$BaTiO_3$	Componentes electrónicos
Ferrite de Níquel	$NiFe_2O_4$	Componentes "magnéticos"

Nome comum	Comp	Utilização
Carboneto de Silício	SiC	Abrasivos
Nitreto de Silício	Si_3N_4	Resistência ao desgaste
Carboneto de Titânio	TiC	Resistência ao desgaste
Carboneto de Tântalo	TaC	Resistência ao desgaste
Carboneto de Tungsténio	WC	Ferramentas de corte
Carboneto de Boro	B_4C	Abrasivos
Nitreto de Boro	BN	Isolamento

VIDROS (CERÂMICOS AMORFOS)

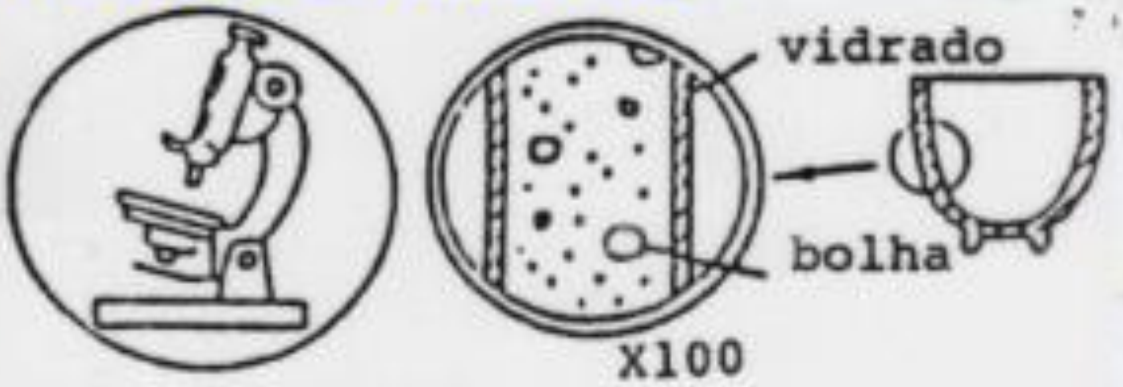
	SiO_2	B_2O_3	Al_2O_3	Na_2O	CaO	MgO	K_2O	ZnO	PbO	Utilização
Sílica vítrea	100									Vidro alta pureza(*)
Borosilicato	76	13	4	5	1					Vidro p/ química
Vidro (janelas)	72		1	14	8	4				
Vidro (conten.)	73		2	14	10					
Fibra vidro E	54	8	15		22					Fibras p/ compósitos
Verniz	60		16		7		11	6		
Enamel	34	3	4				17		42	Revestimento p/ metais

PROCESSAMENTO DAS CERÂMICAS

- PROCESSAMENTO DE CERÂMICAS É FEITO PELA COMPACTAÇÃO DE PÓS OU PARTÍCULAS E AQUECIDO A TEMPERATURAS APROPRIADAS
- PREPARAÇÃO DO MATERIAL: MATÉRIA-PRIMA DEVE TER TAMANHO DE PARTÍCULA CONTROLADO
- MOLDAGEM: PODE SER FEITA A SECO, A ÚMIDO OU PLÁSTICA
- SECAGEM: PRODUTO CONFORMADO É SUBMETIDO À SECAGEM PARA ELIMINAÇÃO DE ÁGUA OU/E LIGANTES
- SINTERIZAÇÃO: PRODUTO CONFORMADO É SUBMETIDO A TRATAMENTO TÉRMICO PARA DENSIFICAÇÃO

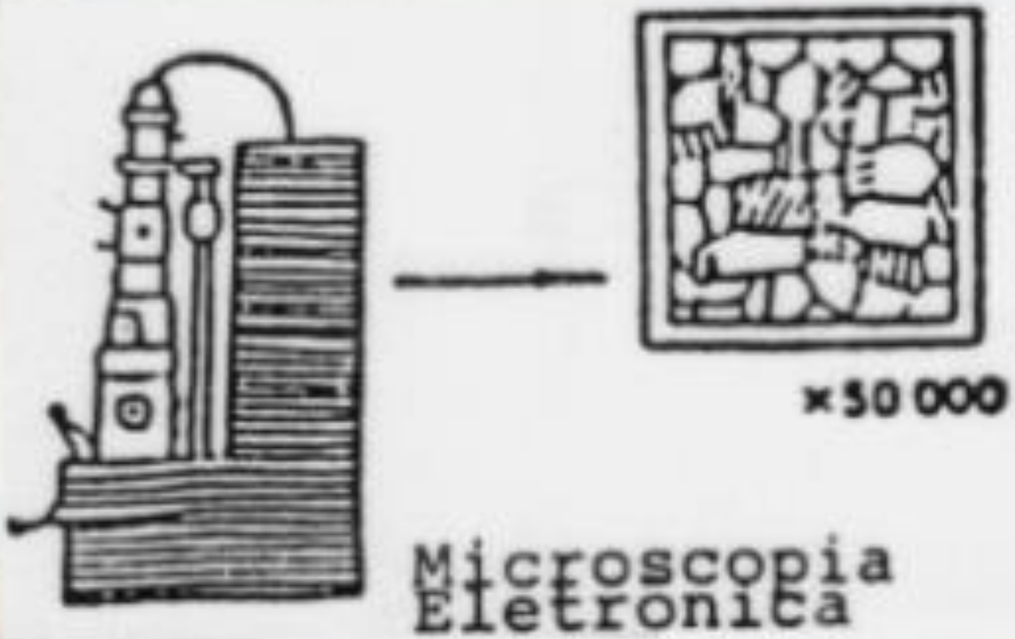
MICROESTRUTURA

TRADICIONAIS

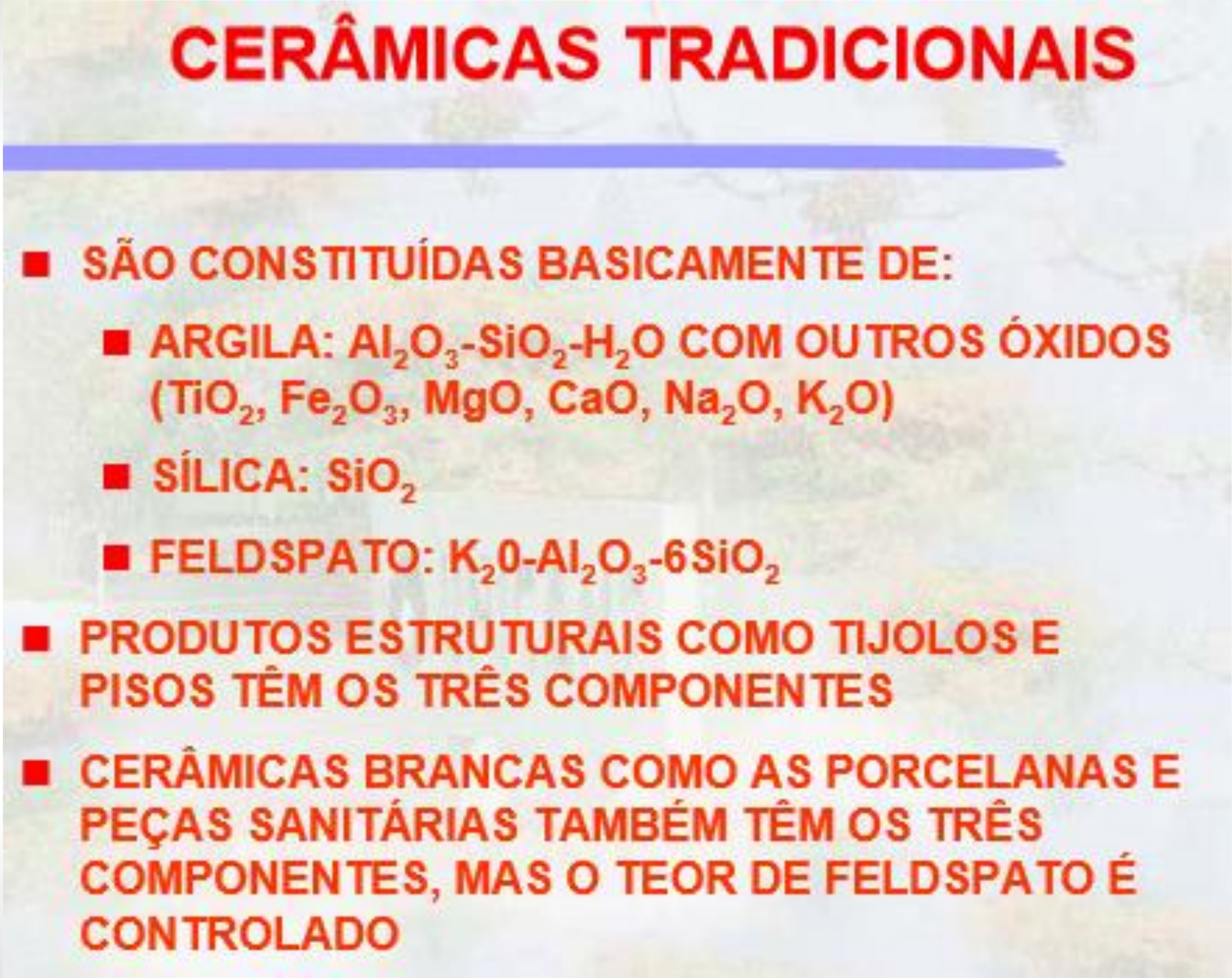

vidrado
bolha
X100

Microscopia ótica

AVANÇADAS

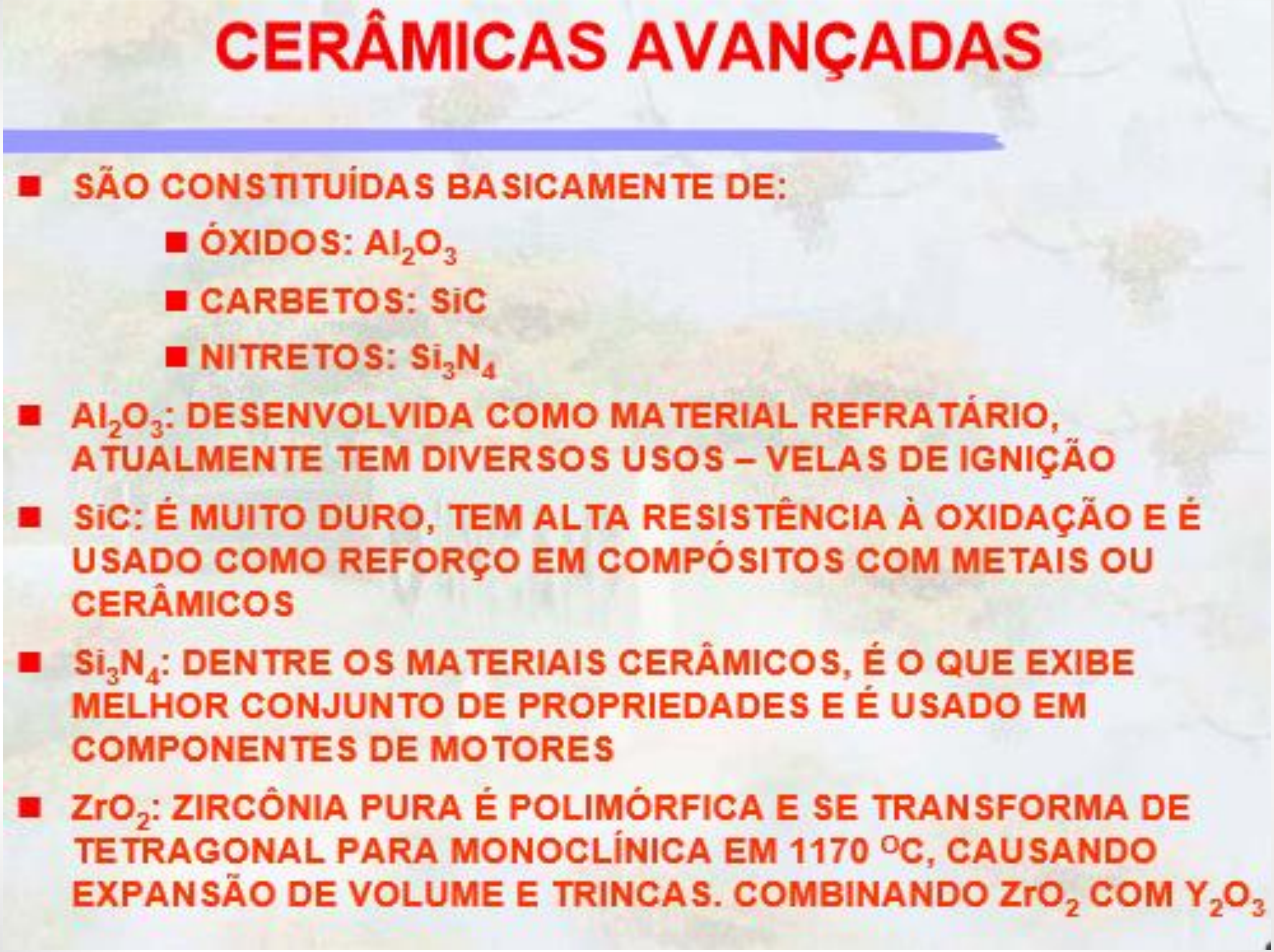


Microscopia Eletronica



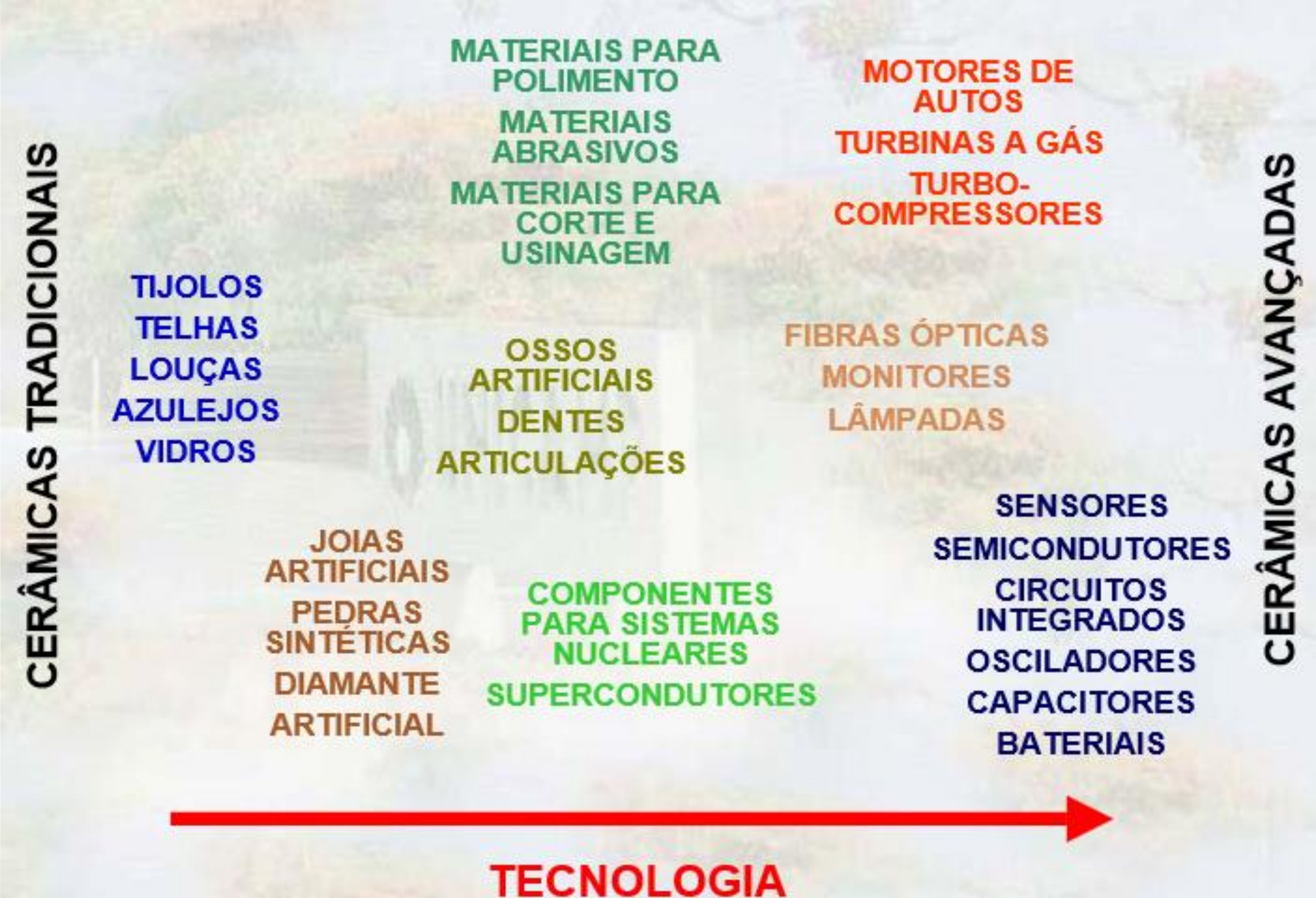
CERÂMICAS TRADICIONAIS

- SÃO CONSTITUÍDAS BASICAMENTE DE:
  - ARGILA: Al_2O_3-SiO_2-H_2O COM OUTROS ÓXIDOS (TiO_2, Fe_2O_3, MgO, CaO, Na_2O, K_2O)
  - SÍLICA: SiO_2
  - FELDSPATO: K_20-Al_2O_3-$6SiO_2$
- PRODUTOS ESTRUTURAIS COMO TIJOLOS E PISOS TÊM OS TRÊS COMPONENTES
- CERÂMICAS BRANCAS COMO AS PORCELANAS E PEÇAS SANITÁRIAS TAMBÉM TÊM OS TRÊS COMPONENTES, MAS O TEOR DE FELDSPATO É CONTROLADO



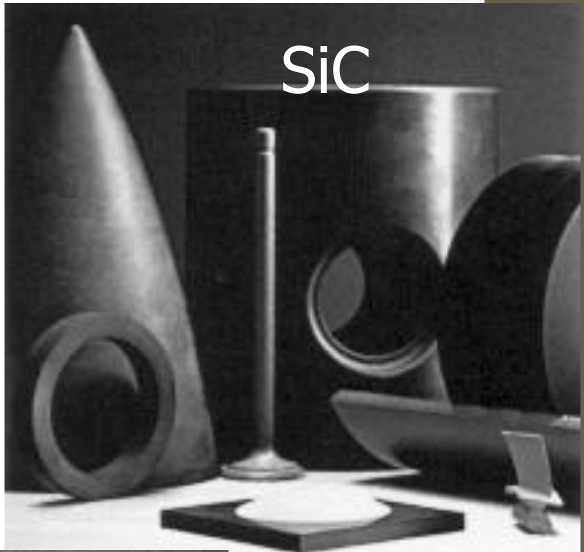
CERÂMICAS AVANÇADAS

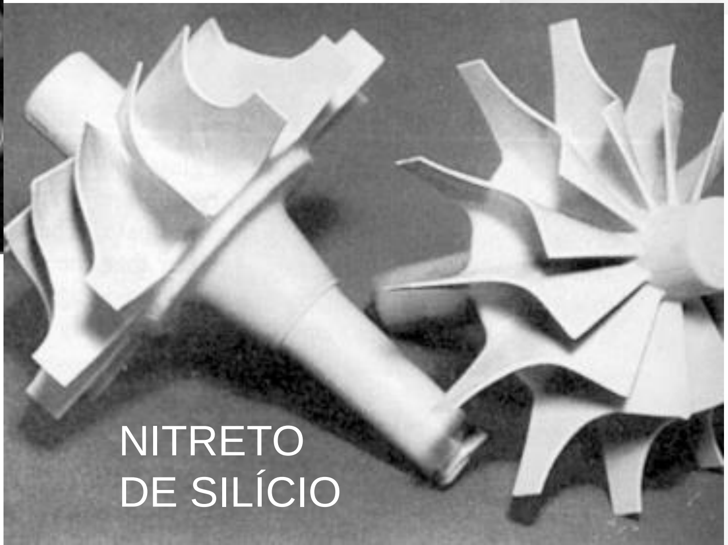
- SÃO CONSTITUÍDAS BASICAMENTE DE:
    - ÓXIDOS: Al_2O_3
    - CARBETOS: SiC
    - NITRETOS: Si_3N_4
- Al_2O_3: DESENVOLVIDA COMO MATERIAL REFRATÁRIO, ATUALMENTE TEM DIVERSOS USOS – VELAS DE IGNIÇÃO
- SiC: É MUITO DURO, TEM ALTA RESISTÊNCIA À OXIDAÇÃO E É USADO COMO REFORÇO EM COMPÓSITOS COM METAIS OU CERÂMICOS
- Si_3N_4: DENTRE OS MATERIAIS CERÂMICOS, É O QUE EXIBE MELHOR CONJUNTO DE PROPRIEDADES E É USADO EM COMPONENTES DE MOTORES
- ZrO_2: ZIRCÔNIA PURA É POLIMÓRFICA E SE TRANSFORMA DE TETRAGONAL PARA MONOCLÍNICA EM 1170 ^{O}C, CAUSANDO EXPANSÃO DE VOLUME E TRINCAS. COMBINANDO ZrO_2 COM Y_2O_3

CERÂMICAS TRADICIONAIS
TIJOLOS
TELHAS
LOUÇAS
AZULEJOS
VIDROS
JOIAS ARTIFICIAIS
PEDRAS SINTÉTICAS
DIAMANTE ARTIFICIAL
MATERIAIS PARA POLIMENTO
MATERIAIS ABRASIVOS
MATERIAIS PARA CORTE E USINAGEM
OSSOS ARTIFICIAIS
DENTES
ARTICULAÇÕES
COMPONENTES PARA SISTEMAS NUCLEARES
SUPERCONDUTORES
MOTORES DE AUTOS
TURBINAS A GÁS
TURBO-COMPRESSORES
FIBRAS ÓPTICAS
MONITORES
LÂMPADAS
SENSORES
SEMICONDUTORES
CIRCUITOS INTEGRADOS
OSCILADORES
CAPACITORES
BATERIAIS
CERÂMICAS AVANÇADAS
TECNOLOGIA

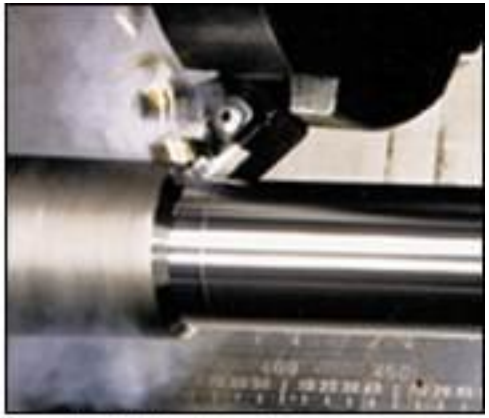
MATERIAIS CERÂMICOS
PRINCIPAIS APLICAÇÕES

- Ind. Mecânica, elétrica e química




NITRETO
DE SILÍCIO

MATERIAIS CERÂMICOS



Ceratip Cutting Tools

Materiais cerâmicos são extremamente duros

podendo atingir 9,5 na escala Mohs

Ceramic Pump and Valve Components

BIOCERAM Dental and Orthopedic Implants (marketed in Japan)

Ceramic rotors under commercial production
Materials: Sintered silicon nitride

ÓXIDOS: PODEM SER SIMPLES OU MISTOS

- EXEMPLOS DE ÓXIDO SIMPLES:

- Alumina (Al_2O_3),
- Berília (óxido de berilo),
- Magnésia (óxido de Mg),
- Zirconia (óxido de zircônio),
- Tória (óxido de tório)
- Sílica (SiO_2)

- ÓXIDO MISTOS: são misturas de alumina, magnésia e sílica

ALUMINA

- CARACTERÍSTICAS:
- Baixo custo
- Boas propriedades mecânicas
- Excelente resitividade elétrica e dielétrica
- Resistente à ação química
- Aplicações: isoladores elétricos, aplicações aeroespaciais, componentes resistentes à abrasão,....

BERÍLIA

- CARACTERÍSTICAS:
- Apresenta boa condutividade térmica
- Alta resistência Mecânica
- Boas propriedades dielétricas
- É cara e difícil de trabalhar
- A poeira é tóxica
- Aplicações: giroscópios, transistores, resistores, …

MAGNÉSIA

- CARACTERÍSTICAS:

- Têm aplicações limitadas porque não é suficientemente resistente e é susceptível ao choque térmico, devido sua elevada dilatação térmica.

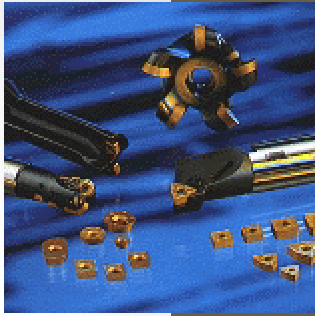
ZIRCÔNIA

- CARACTERÍSTICAS:
- Apresenta-se em várias formas (monoclínica, c
  estabilizada,..)
- A zircônica estabilizada apresenta:
  - Alta tempratura de fusão (2760°C)
  - Baixa condutividade térmica
  - Alta resistência à ação química

TÓRIA

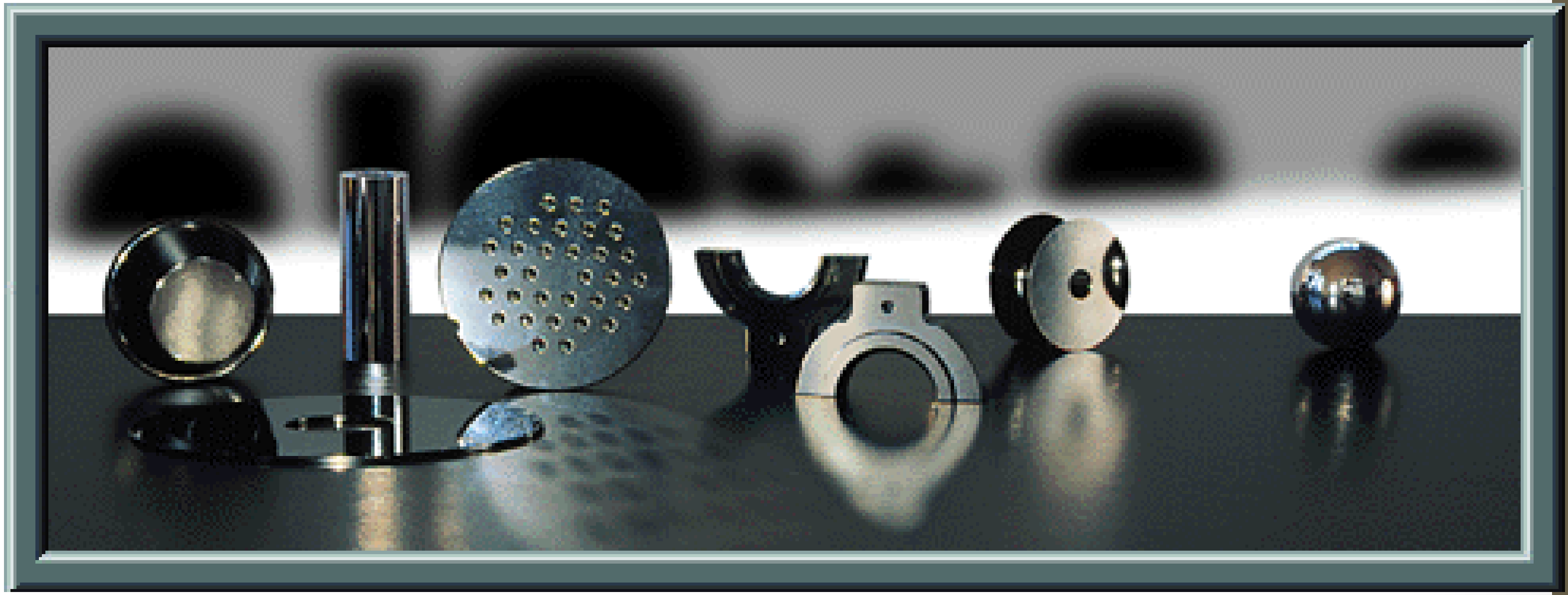
- CARACTERÍSTICAS:
- É o material cerâmico mais estável e o de mais alto ponto de fusão (3315°C)
- - Aplicado em reatores nucleares

OUTROS TIPOS DE MATERIAIS CERÂMICOS



- CARBONETOS:
  - Carboneto de Tungstênio, carboneto de silício *(conhecido como carborundum), carbonto de titânio.*
- BORETOS:
  - Boretos de hafnio, tântalo, tório, titânio, zircônio
- NITRETOS DE BORO E SILÍCIO:
  - Os nitretos de boro tem dureza equivalente ao diamante e resiste sem oxidação até 1926°C

Peça recobertas com TiC



CARBONETO DE SILÍCIO

- Apresenta elevada condutividade térmica
- Baixa dilatação térmica (baixo choque térmico)
- É um dos melhores materiais sob o ponto de vista de resitência ao desgaste e à abrasão

BORETOS

- Apresentam alta dureza
- Elevada relação resistência/rigidez
- Resitência à elevadas temperaturas

VIDROS DA FAMÍLIA SODA-CAL

- São os mais antigos, mais baratos e mais utilizados
- São de fácil conformação
- Podem ser usados até temperaturas de 460°C no estado recozido e até 250°C no estado temperado

- Aplicações:
- Janelas, garrafas, copos,…

VIDROS AO CHUMBO

- Têm alta resistividade elétrica
- Custo relativamente baixo

- Aplicações:
- Tubulações de sinalização de neônio, diversos componentes ópticos, …

VIDROS AO SILICATO DE BORO

- Têm excelente durabilidade química
- Excelente resitência ao calor e ao choque térmico
- O tipo mais comum é o pyrex e o kovar

- Aplicações:
- Vedações, visores, medidores, tubulações, espelhos de telescópios, vidros de laboratórios, vidros de fornos,...

VIDROS AO SILICATO ALUMINOSO

- São de custo elevado
- Apresentam boa resistência a temperaturas relativamente elevadas e boa resistência ao choque térmico
- Boa resistência a produtos químicos

- Aplicações:
- Termômetros para altas temperaturas, tubos de combustão, utensílios para empregos em fornos de cozinhar,...

VIDROS DE SÍLICA FUNDIDA

- São constituídos 100% de sílica
- São muito puros e um dos mais transparentes
- São os mais resistentes à temperatura (resistem até 1260°)
- Possuem excelente resistência ao choque térmico e à ação de agentes químicos
- São de custo elevado e de conformação difícil

- Aplicações:
- Especiais como sistemas ópticos de laboratório, instrumentos para laboratório de pesquisa

Exercícios

- Por que as cerâmicas são frágeis e tem alto ponto de fusão? Faça uma discussão em função das ligações químicas.
- Qual a diferença de uma ligação química direcional e uma não direcional?
- Por que vidros de sílicas fundidas são mais resistentes que os demais?